

황토 마감재의 배합비에 따른 압축강도 특성과 사용성 평가

리신호 · 윤성수 · 서 교 · 송창섭 · 한충수*

충북대학교 지역건설공학과 · *충북대학교 바이오시스템공학과

Usability and Strength Characteristics of Loess(Hwangtoh) Finishing Material by Different Ratios of Ingredients

Rhee, Shin-Ho · Yoon, Seong-Soo · Suh, Kyo · Song, Chang-Seob · Han, Chung-Su*

Dept. of Rural Engineering, Chungbuk National University

**Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University*

ABSTRACT : Up to recently building are constructed focusing on the convenience of residential condition. However, environmental-friendly materials is required for construction as people are spending more time inside buildings and causes of many problems like sick-building syndrome are known due to the noxious gases and polluted air originated from construction materials. Although loess (hwangtoh) is an environmental-friendly material, it has limitations in compressive strength for a construction material.

The purpose of this study is to suggest the optimal ratio of loess(hwangtoh) mortar by tests of compressive strength comparing with standard strength of floor finishing mortar and evaluate the usability of loess(hwangtoh) mortar for floor finishing material through an impact test, a cracking test and a abrasion test. Based on the results of this study, 86% of loess(hwangtoh) and 14% of inorganic binder is suggested for the optimal mixture ratio of loess(hwangtoh) mortar. Moreover, the characteristics of loess(hwangtoh) is suitable for floor finishing material in impact, crack, abrasion.

Key words : Compressive strength, Floor finishing mortar, Inorganic binder, Loess(hwangtoh) mortar

1. 서 론

현대인들은 하루 중 80%이상을 건물 내에서 생활하고 있음을 고려할 때, 쾌적하고 건강한 실내공기질의 확보는 매우 중요하다. 더욱이 최근 각종 건축자재로부터 발생하는 가스 및 유해물질들은 인체에 매우 유해하지만 거주자의 쾌적성과 건강에 심각한 영향을 주고 있다는 것을 대부분 인식하지 못하고 있다(윤동원, 2004). 최근에 들어와서 환경문제에 대해서 일반인들의 관심을 끌기에 충분한 정도로 사회적 관심도가 높아져, 안전하고, 쾌적하고, 에너지와 자원을 절약하면서도 주변 환경에 부담을 주지 않고, 편리함을 추구할 수 있는 건물을 요구하고 있다(김삼열, 2004). 또한, 많은 주택과 아파트에서 사용되는 물질들이 인체에 유해한 물질을 배출하며 이러한 물질은 많

은 시간이 경과해야 저감되는 것으로 알려지면서 정부에서는 2004년 2월부터 건축자재인 합판, 바닥재, 벽지, 판넬, 페인트, 접착제 등으로부터 방출되는 오염물질의 정도에 따라 인증등급을 부여하는 친환경 건축자재 품질인증제를 실시하고 있으며, 많은 업체들이 친환경적인 목재, 페인트 등의 마감재를 출시하고 있다.

황토는 제습, 단열, 축열 및 방음효과가 뛰어나며(김영경, 2001), 온도를 통한 난방시 난방열이 황토바닥을 통과하면서 원적외선을 대량 방출하며(이원섭, 1999), 방출되는 원적외선은 인체에 열을 발생시켜 혈액순환과 신진대사가 원활해지고 동시에 체온상승을 통한 발한작용으로 체내에 축적된 노폐물의 제거가 촉진되는 것으로 알려져 있다(김영경, 2001). 또한, 황토는 시멘트에서 배출되는 유해성분인 라돈이 배출되지 않으며, 통기성이 우수하고 결로 발생이 적어 곰팡이 등의 발생을 줄일 수 있다.

이러한 친환경적 재료인 황토의 장점에도 불구하고 건축자재로의 사용에는 강도 면에서 분명한 한계를 가지고

Corresponding author : Yoon, Seong-Soo

Tel : 043-261-2575

E-mail : yss@cbnu.ac.kr

있다. 때문에 온돌 방바닥 등에 사용하기 위한 친환경적 건축자재로 상품화된 것은 시멘트를 주원료로 하여 천연 광물인 황토, 건운모, 맥반석 등을 모래 대용으로 사용하는 경우가 많으며, 상품의 적정성 여부를 판단하기 위한 생산 표준화 및 품질기준 등을 찾아 볼 수 없다. 따라서 천연광물이나 세라믹스를 응용한 건축자재에 대한 물리·화학적 특성과 기능성에 대한 평가 방법의 확립이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 친환경적인 건축자재인 황토를 고품질의 온돌바닥재로 개발하기 위하여 방바닥 마감재의 압축강도 기준에 적합한 황토 모르타르의 적정 시공배합비 결정을 목적으로 한다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

건축마감재로서 황토는 원적외적 복사 특성이 양호하고, 약알칼리성을 띄며, 습도가 높을때 수분을 흡수하고, 건조시 습기를 발산하는 자동 습도조절력을 가지고 있고, 황토 미립자 속에 작은 기공으로 인해 공기를 순환시키며, 온도 조절력을 갖으며, 개보수가 용이한 특성을 갖는다. 실험에 사용한 황토는 입도 4mm 체를 기준으로 하였고, 황토의 구성 성분비는 표 1과 같다.

혼화재료는 중성 무기바인더(주로 마그네슘)와 강도증진용 고화제를 사용하였다. 고화제는 분상의 재료로 팽창성이면서, 토양의 입자를 결합하여 땅에 고결시키는 재료로서 사질토, 점성토, 깃벌, 산업부산물 등을 유효하게 고결시킨다. 사용한 고화제는 주원료인 시멘트에 수종의 혼입물을 가한 분상의 재료로 생물체에 피해를 주지 않도록 유해한 물질을 포함하지 않으며, 필요한 강도를 얻을 수 있는 팽창성 고화제로 수화작용시 에트링자이트를 효과적으로 생성시키며, 사용한 고화제의 화학성분은 표 2와 같다.

표 1. 황토의 구성 성분비

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	기타 및 loss
비율 (%)	81.06	9.90	2.71	0.01	0.77	1.64	0.28	0.65	0.06	0.08	2.77

표 2. 고화제의 화학성분

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss
23.9	8.4	2.2	54.6	2.5	6.6	1.8

* 신보산업(주)에서 생산한 ESC제품

표 3. 모르타르의 시편별 3일 압축강도

배합비(%)	시편명	압축강도 (kgf/cm ²)	시편명	압축강도 (kgf/cm ²)
황토 90 무기바인더 10	III-1	41.0	IV-1	67.7
황토 87 무기바인더 13	III-2	74.9	IV-2	90.1
황토 84 무기바인더 16	III-3	129.4	IV-3	160.8
황토 80 무기바인더 20	III-4	162.0	IV-4	185.7

* 시편III은 고화제 미사용, 시편IV는 고화제 사용

표 4. 물과 고화제를 사용한 모르타르의 배합비

배합재료 시편명	황토		무기바인더		물 (g)
	비율(%)	중량(g)	비율(%)	중량(g)	
III-1	90	1584.0	10	176.0	337.35
III-2	87	1531.2	13	228.8	337.35
III-3	84	1478.4	16	281.6	337.35
III-4	80	1408.0	20	352.0	337.35

* 시편의 크기: 50×50×50mm

** 상기의 모르타르 양: 0.00075m³(6개 시편 제조량 기준)

2. 배합비

1차과 2차 실험에서 고화제를 첨가하지 않은 시편과 고화제를 첨가한 시편에 대한 강도비교를 통하여 고화제가 강도 증진에 상당한 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 결과는 표 3과 같다. 고화제를 첨가하지 않고 물만을 사용한 모르타르의 배합비는 표 4와 같다. 황토와 무기바인더의 비율은 중량비에 따라 4단계로 조제한 후, 각 단계에서의 강도 변화를 비교·검토하였다.

사용된 물의 양은 기존 시멘트 모르타르의 가수량인 14%보다 약 5% 내외로 더 추가해야 점도가 유지되는 것으로 나타나므로 실험의 평균치인 약 16.2% 내외로 함량을 조절하였다. 이렇게 고화제를 사용한 황토 모르타르 시료에 대한 시편별 배합비 조건은 표 5와 같다.

표 5. 물과 고화제를 사용한 모르타르의 배합비

배합재료 시편명	황토		무기바인더		고화제 (g)	물 (g)
	비율(%)	중량(g)	비율(%)	중량(g)		
IV-1	90	1584.0	10	176.0	5.280	332.070
IV-2	87	1531.2	13	228.8	6.864	330.468
IV-3	84	1478.4	16	281.6	8.448	328.902
IV-4	80	1408.0	20	352.0	10.560	326.790

* 고화제는 40% 수용액으로 제조하여 무기바인더 중량의 3%를 기준으로 첨가

** 시편의 크기: 50×50×50mm

*** 상기의 모르타르 양: 0.00075m³(6개 시편 제조량 기준)

표 6. 시공 적정 배합비

시편명	황토		무기바인더		고화제 (g)	물 (g)
	비율(%)	중량(g)	비율(%)	중량(g)		
V-1	88	1548.8	12	211.2	6.336	285
V-2	87	1531.2	13	228.8	6.864	"
V-3	86	1513.6	14	246.4	7.392	"
V-4	85	1496.0	15	264.0	7.920	"

* 고화제는 무기바인더 중량의 3%를 기준으로 첨가

** 시편의 크기: 50×50×50mm

*** 상기의 모르타르 양: 0.00075m³(6개 시편 제조량 기준)

실험에서 모르타르의 배합비는 무기바인더 함량이 10, 16, 20%인 경우보다 13%인 것이 압축강도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 시공에 경제적이면서 우수한 강도를 결정하기 위해 무기바인더 함량은 12~15% 범위에서 1% 단위로 표 6과 같이 배합비를 조정하였다. 이때의 고화제는 시공의 용이성을 고려하여 무기바인더 함량의 3%를 분말 상태로 혼합하여 시료를 조제하였다. 물은 모르타르의 점도를 고려하여 황토와 무기바인더 중량의 약 16.2%로 하였다.

3. 시험 내용과 방법

가. 압축강도

압축강도 시험은 KS L 5105의 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법에 따라 실시하였다. 압축강도 측정에는 만능재료시험기(UH-100A, SHIMADZA Co.)를 사용하여 1차 시료는 재령 3일, 10일 강도, 시공용 모르타르는 재령 3일, 7일, 28일 강도를 각각 측정하였으며, 시험기의 측정값을 표면적으로 나누어 표시하였다.

나. 충격시험

충격시험은 KS F 4715(얇은 마무리용 벽 바름재)와 KS F 2221(건축용 보드류의 충격시험 방법)에 따라 실시하였다.

KS L 5100(시멘트 강도 시험용 표준사)에 규정하는 표준사를 채운 1.0kg 모래주머니를 1.5m 높이에서 자유낙하시켜 잔갈림·파손·필핀의 벗겨짐 유무를 눈으로 관찰하였으며, 시험은 1개의 시편(150×90×25mm)에 대하여 각각 10회 반복하여 실시하였다.

다. 내균열성 시험

내균열성 시험은 KS L 1001 (도자기질 타일)에 따라 실시하였다.

측정 방법은 오토클레이브 뚜껑을 밀폐한 후, 10기압(180℃)에서 약 1시간 정도를 유지한다. 그 후 가열을 중지하고 증기를 배출시킨 다음, 시편을 꺼내서 형검으로 닦고, 금갈라짐의 유무를 눈으로 조사하였다.

라. 마모 시험

마모 시험에는 낙사식 마모 시험장치를 사용하였다. 시편은 40~50mm 정사각형으로 절단하여 무게 100g이내로 조정하고, 무게를 측정 후 수평면과 45도로 경사지게 장착하고, 1100mm의 높이에서 KS L 6508에 규정한 탄화규소 연삭재 입도 20번을 낙하시킨다. 이 경우 낙하시 시간은 8분 이상이 되도록 조정하여 낙하시킨 후, 시편에 부착된 가루를 잘 털어내고 시편의 무게를 측정하여 초기 무게와의 차이를 마모 감량으로 한다.

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도의 특성

가. 황토의 배합비율과 재령이 압축강도에 미치는 영향

그림 1은 황토 배합비율이 90(IV-1), 87(IV-2), 84(IV-3), 80%(IV-4)일 때 무기바인더를 각각 10%, 13%, 16%, 20% 배합한 경우 시편별로 각각 재령 3일, 10일 압축강도 변화에 대한 실험결과를 나타낸 것이다.

그림 1에 나타냈듯이 황토의 배합비율이 감소하고, 무기바인더 배합비율이 증가할수록 압축강도는 뚜렷하게 증가하는 경향을 나타내었고, 재령이 긴 것이 강도도 증가하였다. 특히 황토 87%(IV-2)에 무기바인더 배합비율 13%인 경우와 황토 86%에 무기바인더 14%(IV-3), 황토 85%에 무기바인더 15%(IV-4) 등이 모르타르 바닥재의 기준강도(120kgf/cm²) 이상으로 나타났다.

재령 3일 압축강도에 비하여 10일 압축강도의 증가율은 황토 배합비율이 90%인 경우 18.0%, 87%인 경우 25.7%, 84%인 경우 22.4%, 80%인 경우 24.8% 증가하였다. 이것은 고화제를 사용하지 않은 황토의 배합비율에 따른 강도 증가율보다 9.3~3.1% 높은 것이다. 따라서 고화제는 강도 증진에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

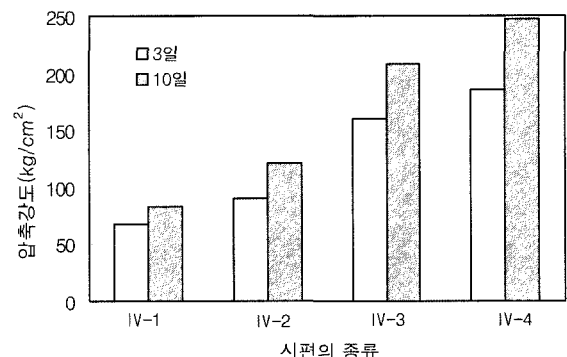


그림 1. 황토 배합비율에 따른 재령 3일과 10일 압축강도 변화

나. 시공 모르타르의 배합비와 압축강도

시공에 적합한 황토와 무기바인더의 배합비율을 결정하기 위해 경제적이고, 효과적인 배합비를 결정할 필요가 있다. 따라서 앞에서 서술한 황토 87%인 배합비율을 기준으로 황토 88(V-1), 87(V-2), 86(V-3), 85(V-4)%에 무기바인더의 배합비율을 각각 12, 13, 14, 15%로 하여, 모르타르의 적합한 배합비를 검토하였다. 그림 2는 황토 배합비율을 88, 87, 86, 85%로 했을 경우 3일, 7일, 28일의 압축강도 변화를 나타낸다.

그림 2에서와 같이 황토의 배합비율이 감소하고 무기바인더의 배합비율이 증가할수록 재령에 따른 모르타르의 압축강도는 증가하는 경향을 나타낸다.

3일 압축강도에 비해 7일 강도의 증가율은 황토 배합비율이 88%인 경우 20.0%, 87%인 경우 17.4%, 86%인 경우 15.7%, 85%인 경우 15.1% 증가하였다. 또한, 3일 압축강도에 비해 28일 후 강도의 증가율은 황토 배합비율이 88%인 경우 24.0%, 87%인 경우 22.4%, 86%인 경우 19.9%, 85%인 경우 18.0% 증가하였다.

3일 압축강도에 비해 7일과 28일 강도의 증가율 차이는 배합비에 따라 약 5% 이내였고, 시공에 적합한 강도를 발현하는 황토 배합비율은 V-2(87%)나 V-3(86%)로 나타났다, 28일 압축강도는 각각 116, 141kgf/cm²이었다. 표 7은 이러한 결과를 정리한 것이다.

모르타르 바닥재의 기준 강도(120kgf/cm²)에 준하여 시공할 황토와 무기바인더 배합비율은 V-2나 V-3가 안전

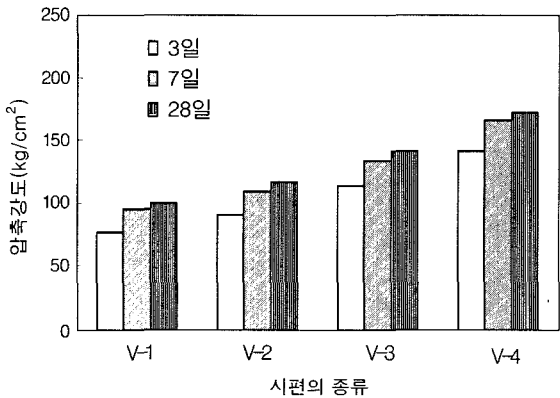


그림 2. 시공 모르타르의 배합비별 압축강도

표 7. 시공 모르타르의 배합비별 경과일수에 따른 압축강도 변화(kgf/cm²)

배합비(%)	시편명	3일	7일	28일
황토 88, 무기바인더 12	V-1	76	95	100
황토 87, 무기바인더 13	V-2	90	109	116
황토 86, 무기바인더 14	V-3	113	134	141
황토 85, 무기바인더 15	V-4	141	166	172

할 것으로 판단되나, 안전을 고려하여 28일 강도가 141 kgf/cm²인 V-3가 적합한 것으로 판단된다. 온돌과 관련된 바닥마감재의 경우 차음성과 단열성능에 대해 각각 주택건설기준 등에 대한 규정 제14조 제3항과 4항과 건축법 제59조 및 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제21조, 22조에 따라서 공동주택 바닥충격을 차단구조 인정 및 관리기준과 건축물 에너지절약 설계기준에 규정되어 있다. 하지만, 바닥마감재의 경우 압축강도, 충격, 마모, 균열 등에 대한 구체적인 기준은 제시되어 있지 않으며 차음성의 경우에도 완충재를 사용하는 경우 바닥재에 대한 차음규정이나 제한이 없으며, 단열성능의 경우에도 단열재의 열전도율에 대한 기준은 있으나 바닥마감재에 대한 기준은 제시되고 있지 않아 모르타르 바닥재의 기준 압축강도를 사용하여 비교하였다.

2. 충격 특성

건물이 충격을 받을 경우 균열, 파손 및 박리현상 등으로 인해 손상되는 경우를 흔히 볼 수 있다. 여기서 충격 실험은 시공용 모르타르인 V-1, V-2, V-3, V-4 시편에 대해서만 실시하였다. 그 결과, 배합비별 모르타르 표면에 균열과 박리 현상 등과 같은 손상은 발견되지 않아, 온돌 방바닥 마감재로써 내충격성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

3. 내균열성 특성

온도와 압력에 대한 균열, 박리 정도를 눈으로 검사한 결과, 균열이나 박리 현상은 발견되지 않았다. 한편 모르타르의 일부에 표면 색상이 약간 변색되었으나, 이것은 모르타르가 고온과 고압에서 물과 접촉하기 때문에 발생한 것으로 실제 시공에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

4. 내마모성 특성

모르타르는 방바닥 마감재이므로 사용할 때 접촉과 마찰에 의해 표면이 긁히거나 벗겨질 수 있다.

그림 3은 황토 배합비율이 88(V-1), 87(V-2), 86(V-3), 85(V-4)%인 시공용 모르타르에 대하여 각 시편별 마모율을 나타냈다. 초기 무게 80.08~82.12g 정도인 시편에 대한 마모감량은 0.10~0.29g 범위를 나타냈다. 그림에서와 같이 마모율은 황토 배합비율이 88, 87, 86, 85%일 때 각각 0.36, 0.19, 0.16, 0.12%로 황토 배합비율이 증가할수록 마모율은 약간 높게 나타났다. 이것은 황토 배합비율이 증가하면 무기바인더의 함량이 감소하여 경도가 작아지기 때문으로 판단된다.

연질계와 경질계 실내 바닥재의 내마모성을 하나의 성능등급으로 요구하기에는 다소 무리가 있으며(조진일 등,

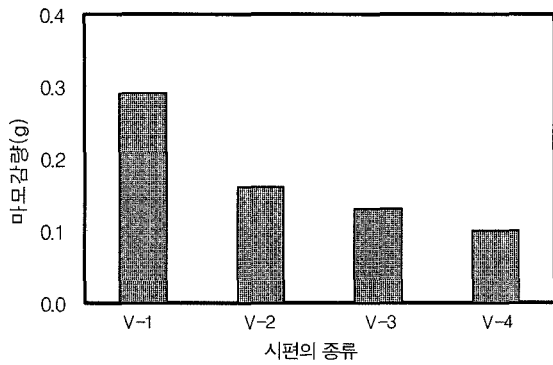


그림 3. 시편별 마모율의 변화

2004), 기존의 연구에서도 마모시험법인 KS F2811 (회전타격마찰 시험법), KS F 2813(연마지 시험법)에 의한 마모량 비교실험에서 절대적인 마모량이 다르게 나타나고 있다(대한주택공사 주택연구소, 1998). 따라서 마모율의 변화를 고려할 때 황토 배합비율이 87%를 기준으로 마모율이 크게 변화되므로 시공용 모르타르의 황토 배합비율은 87% 이하로 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

압축강도와 충격, 균열, 마모 등에 대한 시험 결과를 종합하면, 본 연구에서 제시한 배합비의 황토 모르타르는 온돌 방바닥 마감재로서 사용이 가능하고, 적정 배합비는 황토가 많은 것이 좋으므로 표3의 V-3인 황토 86%, 무기바인더 14%이다. 여기서 고화제는 무기바인더 함량의 3%이고, 물은 황토와 무기바인더 중량의 약 16.2%이다.

VI. 요약 및 결론

황토를 이용하여 고품질의 온돌 바닥재를 개발하기 위하여 방바닥 마감재의 압축강도를 모르타르 바닥재 기준 압축강도와 비교하여 황토 모르타르의 적정 시공 배합비율을 제시하고 사용 가능성을 평가해 보았으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 황토의 배합비율이 감소하고 무기바인더 배합비율이 증가할수록 압축강도는 뚜렷하게 증가하는 경향을 나타내었다. 황토와 무기바인더 배합비율이 각각 87%에 13%인 경우와 86%에 14%, 85%에 15%인 경우가 방바닥 마감재의 기준강도에 적합한 것으로 나타났고, 안전을 고려하여 28일 강도가 141kgf/cm²인 86(V-3)이 적합한 적정 시공배합인 것으로 판단된다.

2) 충격시험 결과, 전 배합비에서 표면에 균열과 박리 현상 등과 같은 손상은 발견되지 않아 온돌 방바닥 마감재로서 문제가 없을 것으로 판단된다.

3) 균열시험 결과, 온도와 압력에 의해 균열이나 박리

현상은 발견되지 않았으므로 마감재로 사용가능한 것으로 판단할 수 있다.

4) 마모시험 결과, 황토의 배합비율이 87% 이하인 경우 마모율이 0.19% 이하로서 실제 사용에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

5) 본 연구의 시험 결과를 종합하면, 황토 모르타르는 온돌 방바닥 마감재로 사용이 가능하고, 적정 배합비는 황토 86%, 무기바인더 14%로 제안할 수 있다.(여기서, 고화제는 무기바인더 중량의 3%, 물은 황토와 무기바인더 중량의 약 16.2%로 하였다.) 다만, 향후 콘크리트의 경우 시공한 제품에 대한 강도가 시편의 시험강도보다 18~20% 정도 낮은 값을 고려하여 시공된 황토 바닥재와 시편의 시험강도 간의 관계에 대한 규명이 필요할 것으로 사료된다.

이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by Chungbuk National University Grant in 2004)

참고문헌

1. 강성곤, 김재영, 양갑수, 2000, 황토를 이용한 다공질 입체타일 개발에 관한 연구, 한국공예논총, 1-20
2. 김삼열, 2004, 외국의 친환경 주거건물 사례, 대한설비공학회 33(6) : 44-51
3. 김영경, 2001, 황토방요법의 효과에 관한 내용분석, 여성건강 2(2) : 25-50
4. 대한주택공사 주택연구소, 1998, 공동주택 부위별 성능기준 작성연구
5. 변근주, 1995, 혼화재료, 한국레미콘공업협회, 97-120
6. 오창희외 2인, 1983, 건축재료공학, 보성문화사
7. 원중욱, 김난행외 3인, 2002, 온수온돌 바닥마감재에 따른 실내 열환경 및 방열 특성 평가, 한국생활환경학회지 9(2) : 146-153
8. 윤동원, 2004, 실내공기질 관리를 위한 친환경 건축자재 인증제도, 설비저널 33(1) : 35-55
9. 이원섭, 1999, 황토건강법, 동방미디어
10. 조진일, 유태동, 이호진, 2004, 교육환경 변화에 따른 교육시설 실내 바닥재의 선정기준 연구 20(1) : 91-98
11. 한국산업규격, <http://www.ks.or.kr>
12. 한국표준협회, <http://www.ksa.or.kr>
13. 한국전자제시험연구원, <http://www.kicm.re.kr>